

"OPTIMASI SISTEM PANCUNG REAKTOR NUKLIR"

Oleh : Ir. Agus Budhie Wijatna*)

Intisari

Persyaratan sistem keselamatan reaktor nuklir yang sangat ketat, mengharuskan setiap penyimpangan peubah-peubah (variables) proses yang melebihi batas desain harus mampu diantisipasi oleh sistem keselamatan sehingga kecelakaan dapat dihindari. Antisipasi tersebut harus tepat kondisi serta merupakan hasil kompromi kejadian gagal-aman (fail-safe) dan gagal-bahaya (fail-to-danger).

Sifat operasi reaktor nuklir yang sangat "spurious" akibat adanya goyangan reaktifitas, adanya sinyal derau (noise signal) yang sampai ke sistem proteksi menyebabkan makin rumitnya sistem pengendalian yang harus dibuat guna memenuhi kompromi di atas.

I. Pendahuluan

Salah satu tujuan proses rancang bangun dan kerekayasa sistem pembangkit listrik adalah dapat dibuatnya sistem yang mampu beroperasi secara luwes; artinya sistem tersebut mampu beroperasi untuk memikul beban transien maupun memikul beban dasar.

Memikul beban transien berarti bahwa sistem pembangkit tersebut dioperasikan pada tingkat daya yang berubah-ubah sesuai dengan permintaan beban jaringan; beban transien seperti ini sangat cocok jika dipenuhi oleh unit pembangkit yang sistem pengendaliannya tidak begitu rumit, misal Pembangkit Listrik tenaga Diesel (PLTD).

Memikul beban dasar mengandung pengertian bahwa sistem tersebut dioperasikan secara terus menerus pada daya penuh; dan umumnya unit-unit pembangkit yang ongkos operasinya murah serta menuntut persyaratan keselamatan/keandalan yang tinggi sangat cocok untuk memenuhi beban yang konstan ini; misal Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN).

Sifat beban yang harus dipikul tersebut akan menjadi salah satu pedoman dalam merancang sistem pengendaliannya. Unit pemikul beban dasar umumnya tidak memerlukan sistem pengendalian yang

rumit, karena dalam pengoperasiannya tingkat daya yang dihasilkan hampir tetap (konstan) untuk jangka waktu cukup lama. Namun PLTN mempunyai keunikan, karena meskipun sudah di "set up" pada tingkat daya tertentu, ternyata sifat operasinya masih lancung (spurious). Kondisi operasi lancung tersebut antara lain disebabkan adanya goyangan reaktifitas, misal susutan bahan bakar, berkurangnya reaktifitas lebih atau serapan neutron oleh produk fisi/serapan neutron oleh materi di sekeliling reaktor.

Dari segi elektronisnya, operasi lancung tersebut mungkin disebabkan adanya sinyal derau yang masuk ke sistem proteksi atau adanya hubungan singkat (short circuits) pada motor penggerak batang kendali.

Kondisi operasi lancung yang tidak melampaui batas-batas keselamatan desain seharusnya tidak perlu diantisipasi dengan dipancungnya reaktor, oleh karena itu sistem pengendalian yang dibuat harus mampu mengkompensasi kondisi operasi lancung tersebut. Dengan demikian kompensasi sistem pengendalian dimaksudkan agar goyangan reaktifitas yang terjadi secara terus menerus selama reaktor beroperasi tidak menyebabkan seringnya reaktor trip/shut-down; di samping itu kompensasi yang diberikan tidak akan menyebabkan terabaikannya aspek keselamatan.

Akan dibahas kompromi antara batang kendali trip-reaktor terpancung karena gangguan kecil yang tidak membahayakan (fail-safe) dengan batang kendali tidak mau trip memancung reaktor pada kondisi darurat (fail to danger). Pembahasan ditekankan pada perhitungan dan analisis faktor kebolehjadian gagal untuk masing-masing kondisi.

*)Anggota Staf Pengajar Jurusan Teknik Nuklir FT — UGM.

II. Pembahasan

Batasan dan asumsi yang digunakan dalam bahasan :

1. Didefinisikan bahwa yang dimaksud dengan,
 - a. *Gagal-aman (fail-safe)* adalah kegagalan operasi reaktor yang disebabkan oleh gangguan-gangguan/kesalahan-kesalahan yang menyebabkan batang kendali trip-reaktor terpancung.
 - b. *Gagal-bahaya (fail-to-danger)* adalah kegagalan sistem proteksi memancung reaktor pada saat peubah-peubah proses melampaui batas-batas desain.
2. Pokok bahasan menggunakan asumsi bahwa sistem proteksi maupun sistem pancung menggunakan sistem dengan sifat "redundancy" yaitu konfigurasi sistem 1/n. Dengan demikian setiap sistem tersusun dari n buah subsistem yang tidak saling gayut, dan sistem secara keseluruhan akan gagal jika lebih dari "1" buah subsistem gagal.

Kementakan gagal sistem secara keseluruhan (EE, Lewis, 1977);

$$P_{(\geq n-1+1)} = \begin{bmatrix} n \\ n-1+1 \end{bmatrix} \cdot p^{n-1+1} \dots \dots \dots (1)$$

dengan :

P = Kementakan sistem gagal
p = Kementakan subsistem gagal.

Perancangan sistem proteksi harus mempertimbangkan agar kejadian gagal-aman tidak sering terjadi pada unit-unit pemikul beban dasar, karena secara ekonomi hal ini sangat merugikan, di samping itu seringnya reaktor terpancung (shutdown) akan mengakibatkan komponen-komponen reaktor mengalami perlakuan yang lebih berat dari semestinya, sehingga akan memperpendek umur operasi reaktor.

Namun demikian penyusutan frekuensi terjadinya gagal-aman tidak boleh mengakibatkan makin besarnya kemungkinan terjadinya gagal-bahaya. Suatu kondisi di mana sistem proteksi mencapai aras tak dapat diterima (unacceptable level) pada saat peubah-peubah proses sudah melampaui batas-batas keselamatan. Nampak bahwa kompromi perilaku gagal-aman dengan gagal-bahaya semakin sulit

dicapai karena perubahan desain untuk memperkecil kemungkinan gagal-bahaya ternyata akan menyebabkan makin membesarnya kemungkinan gagal aman.

Kementakan gagal-bahaya secara umum dapat ditulis (pers-1) :

$$P_{(\geq n-1+1)} = \begin{bmatrix} n \\ n-1+1 \end{bmatrix} \cdot p^{n-1+1} \dots \dots \dots (2)$$

dengan p = Kementakan gagal-bahaya setiap subsistem. Karena sistem 1/n akan mengalami gagal-aman jika terdapat 1 buah subsistem secara serempak gagal, maka kementakan gagal-aman nya :

$$P_{(\geq 1)} = \begin{bmatrix} n \\ 1 \end{bmatrix} \cdot (p_s)^1 \dots \dots \dots (3)$$

dengan p_s = kementakan gagal-aman untuk setiap subsistem.

Akan dijabari kompromi antara kejadian gagal-aman dengan gagal-bahaya "redundancy" dengan konfigurasi sistem 1/n dan sistem 2/n.

- a) Redundant dengan konfigurasi "1/n systems".

Dari persamaan (2) nampak bahwa jika n diperbesar maka kementakan gagal-bahaya menjadi :

$$P_{(\geq n)} = (p)^n$$

sedang kementakan gagal-aman nya :

$$P_{(\geq 1)} = n \cdot P_s$$

Jadi pada konfigurasi sistem 1/n untuk kondisi di mana jumlah subsistem (n) yang banyak akan menyebabkan kementakan gagal-bahaya mengecil, sedang kementakan gagal-aman membesar sebagai fungsi linear jumlah subsistem (n).

- b) Redundant dengan konfigurasi "2/n system"

Dari persamaan (2) nampak bahwa kementakan gagal-bahaya menjadi lebih besar :

$$P_{(\geq n-1)} = n \cdot (p)^{n-1}$$

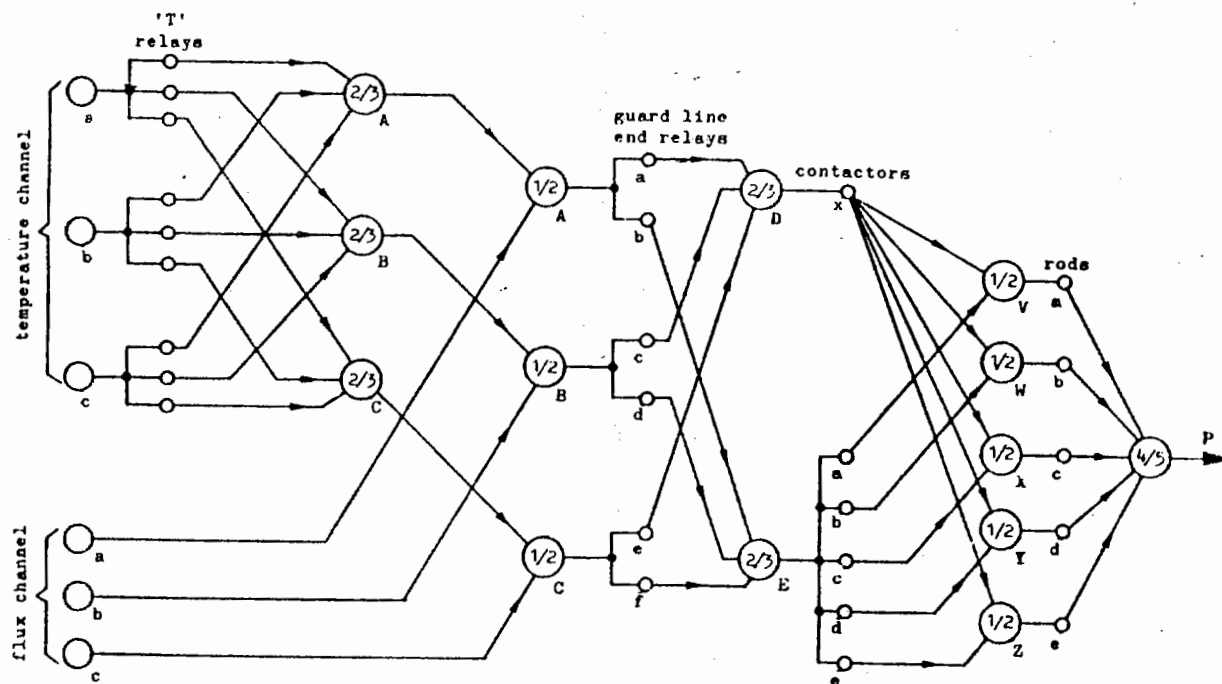
sedang kementakan gagal-aman berada pada orde $(p_r)^2$:

$$P_{(\geq 2)} = \frac{n(n-1)}{2} \cdot (p_r)^2$$

Pada kondisi di mana kementakan gagal-bahaya (p) dan kementakan gagal-aman (p_r) jauh lebih

kecil dari satu maka "redundancy" dengan konfigurasi sistem $2/n$ dapat memberikan hasil kompromi yang memuaskan.

Dalam penerapannya, suatu sistem akan terdiri dari beberapa konfigurasi, yang bertujuan untuk mendapatkan optimasi kompromi dari gagal-aman dengan gagal-bahaya, sebagaimana terlihat pada gambar (1) di bawah ini.



Gambar 1. Sistem "redundancy" proteksi dan sistem "redundancy" pancung (EE. Lewis, 1977; hal. 124).

Gambar 1 menunjukkan dua buah peubah proses (process variables) yaitu temperatur dan fluks neutron yang keduanya merupakan sumber pembangkit sinyal pemicu bagi bekerjanya sistem proteksi maupun sistem pengendali yang berfungsi juga sebagai sistem pancung "redundancy" dengan konfigurasi sistem $2/3$; $1/2$; $2/3$; $1/2$ dan $4/5$ digunakan secara serempak dalam sistem proteksi dan sistem pancung agar kegagalan satu konfigurasi/subsistem tidak menyebabkan sistem secara keseluruhan gagal; konsep yang mana kegagalan satu subsistem tidak menyebabkan sistem secara keseluruhan gagal disebut "single failure concept". Konsep ini diterapkan dengan maksud untuk memperkecil kementakan sistem gagal, atau dengan kata lain konsep ini dimaksudkan untuk memperkecil kementakan gagal-bahaya. Sedang untuk

memperkecil frekuensi terjadinya gagal-aman, semua sinyal dari sumber pemicu utama dilewatkan gerbang OR (fungsi OR) sebelum masuk ke sistem proteksi maupun sistem pancung, pada gambar 1 fungsi OR dipasang pada "redundancy" dengan konfigurasi sistem $1/2$.

III. Kesimpulan

Kompromi antara kejadian gagal-aman dan gagal-bahaya dapat dicapai dengan mudah jika diterapkan "single failure concept" dan juga diusahakan agar sumber sinyal pemicu utama tidak hanya berasal dari satu jenis peubah proses saja, hal ini dimaksudkan agar gangguan-gangguan kecil yang ditampilkan oleh sinyal pemicu tidak menyebabkan terjadinya gagal-aman.

Ucapan Terimakasih

Tulisan ini dapat tersusun berkat bimbingan dan saran-saran Bapak drs. HC. Yohanes serta dorongan dari teman-teman sejawat, Atas budi baik beliau-beliau saya ucapkan terimakasih.

Pustaka

1. EE. Lewis, "Nuclear Power Reactor Safety", John Wiley & Sons First Edition, New York, 1977.
2. Prajoto, dkk. "Pengantar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir", Badan Tenaga Atom Nasional, Jakarta 1978.